

УДК 621.771.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОКАТКИ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Шинкарев Александр Сергеевич

Студент 6 курса,

кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Колесников А.Г.,

доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки»

В настоящее время в машиностроении существует потребность в конструкционных материалах, обладающих целым комплексом свойств: высокой прочностью в сочетании с пластичностью, жаропрочностью, жаростойкостью, высоким сопротивлением усталостному разрушению, износостойкостью, коррозионной стойкостью и прочее.

Существует несколько путей улучшения характеристик конструкционных материалов:

- получение композиционных материалов (волоконистых и дисперсно-упрочненных);
- создание металлических слоистых материалов, состоящих из двух и более разнородных фаз;
- целенаправленное формирование субмикро- и нанокристаллической структуры с целью получения новых свойств.

Интересным является получение многослойных металлических материалов с как можно более мелкозернистой структурой. Используя методы прокатки, как наиболее производительные методы обработки давлением представляется возможным получать массивные заготовки с наноразмерной структурой, обладающие высокой прочностью, твёрдостью, повышенной износостойкостью при достаточно высокой пластичности, что облегчает последующую обработку для получения различных деталей машиностроения и позволит использовать их в различных конструкциях. Разработка технологии получения многослойных заготовок методом горячей прокатки, открывает перспективы создания материалов с субмикро- и наноразмерной структурой на основе промышленно выпускаемых металлов и сплавов, [1]. Проведенные ранее исследования показали, что получение такой структуры, в материале созданном на основе одного металла, возможно в том случае, если в исходной композиции участвуют сплавы, имеющие различное кристаллическое строение (решетки ОЦК и ГЦК), [2].

Одной из существенных задач здесь является выбор оптимальных параметров процесса горячей прокатки, поэтому требуется разработка научно обоснованных методов расчета технологических параметров процесса прокатки многослойных материалов для достижения заданных свойств. Необходимо провести анализ влияния различных факторов на конечную структуру материала и его свойства:

- исследовать влияние температуры и скорости прокатки, степени деформации на равномерность получаемой структуры;
- провести анализ соотношения прочностных свойств компонентов и исходных толщин слоёв;
- оценить влияние условий контактного и межслойного трения, количества и расположения слоев в пакете;
- подобрать оптимальные геометрические параметры процесса.

Для достижения надежного соединения и получения многослойных полос с однородной ламинарной структурой необходимо изучить распределение обжатий в обрабатываемом металле, степень проработки сечения при прокатке с различной степенью деформации. Для исследования неравномерности деформации многослойных полос при горячей прокатке возможно проведение модельных экспериментов с использованием в качестве материала композиции скульптурного пластилина.

В ходе работы были проведены опыты по прокатке многослойных заготовок из пластилина различной твердости и расцветки. Использование пластилина обосновано тем, что поведение этого материала при деформировании во многом аналогично поведению металла при горячей прокатке (рис.1). Пластилин дает возможность наглядно смоделировать процесс прокатки многослойной заготовки, поэтапно фиксируя изменение структуры при различных обжатиях и непосредственно наблюдая процесс в зоне пластической деформации.

Недостатком использования данного материала являются его сравнительно низкие механические свойства, высокая чувствительность к температурным колебаниям и склонность к налипанию на деформирующий инструмент. Для решения проблемы прилипания образцы заворачивались в полиэтиленовую пленку.

При изготовлении образцов для подготовки отдельных слоев исходного материала использовался ручной прокатный стан с диаметром валков 40 мм. Во избежание налипания прокатка проводилась на гладких шлифованных валках в несколько проходов и с малыми обжатиями, с использованием глицерина в качестве смазки. Высота слоев была откалибрована прокаткой с одного установа.

С целью определения сравнительных характеристик модельных материалов была измерена твердость желтого и черного пластилина по методу Бринелля. Материалы имели маркировку (Т) – твердый и (М) – мягкий соответственно. Было установлено, что твердость пластилина (Т) примерно на 30 % больше твердости пластилина (М).

Для оценки пластических характеристик модельных материалов были проведены исследования образцов на сжатие с помощью испытательной машины ИР 5047-50. Были продеформированы цилиндрические образцы высотой 30 мм и радиусом 15 мм, в результате чего установлено, что для обоих типов модельных материалов, судя по кривым нагружения (рис. 2,3), максимальная разница в поведении наблюдается при скорости деформирования 20 мм/мин. Эта скорость была принята оптимальной для моделирования.

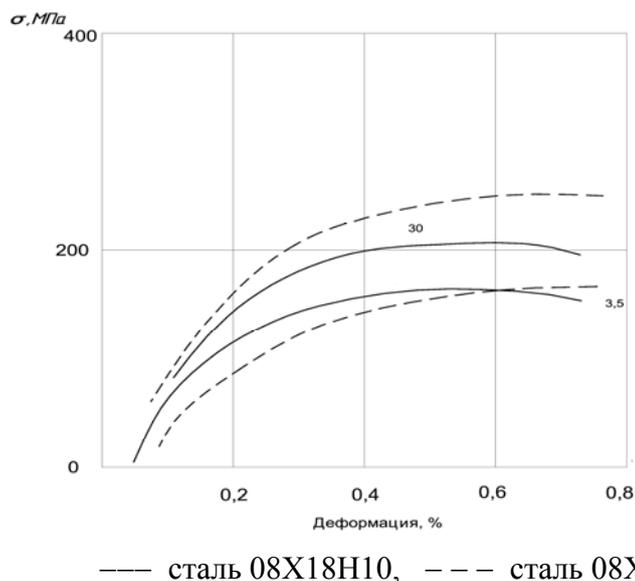


Рис. 1. Кривые сопротивления деформации сталей 08X18H10 и 08X18 при температуре 1000°C и различных скоростях деформации.

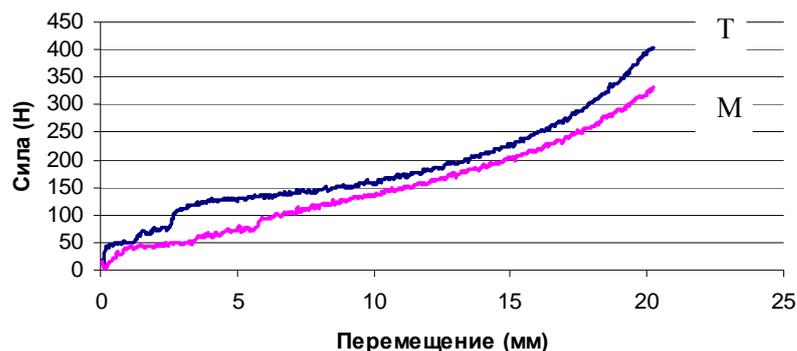


Рис. 2. Кривые течения модельных материалов при температуре +20°C.

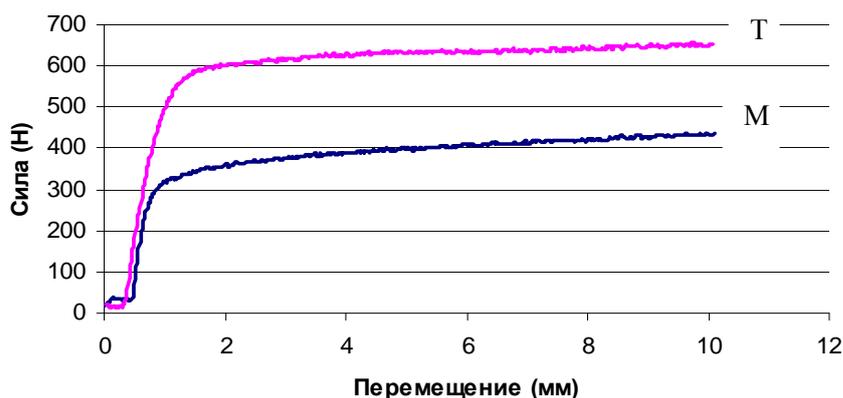


Рис. 3. Кривые течения модельных материалов при температуре -15°C.

При отработке методики высота слоя в образцах была принята равной 1 мм, так как получение меньшей толщины слоев на пластилине сопряжено с большими трудностями. Были изготовлены заготовки, состоящие из пластилиновых карточек марок (Т) и (М) размером 170x40 мм. Из них формировался пакет общей высотой 25 мм, в котором последовательно, через один чередовались слои мягкого и твердого материала. Перед прокаткой производилась осадка заготовки, а для получения различных обжатий в одном проходе на образце было сформировано три ступенчатых перехода. Для получения правильной геометрической формы, кромки модельной заготовки были обрезаны (рис.4). Прокатка производилась на стане ДУО 160 с раствором валков 12 мм. Замером геометрических параметров образца до и после прокатки были определены обжатия соответствующие каждой ступени. Также на продольных срезах в сечении образца были изучены структуры многослойного материала.

Опыт показал, что при обжатиях до 40% нарушения ламинарного (равномерного) строения слоев не происходило. При обжатиях близких к 50% в модели нарушилась ламинарность структуры, образовалась волнистость, и были замечены разрывы слоев.

В ходе последующих опытов было установлено, что при толщине 1мм точность изготовления слоев является недостаточной, а проведение измерений является весьма затруднительным, поэтому результаты этих опытов не могут быть учтены в виду невозможности должным образом оценить разницу в деформации твердых и мягких слоев. В результате для повышения точности измерений при изготовлении слоев было решено в дальнейшем изготавливать образцы с толщиной слоев равной 2 мм.

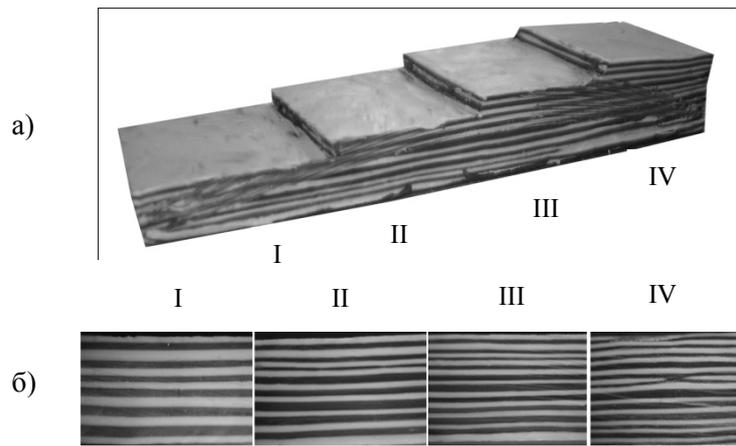


Рис.4. Модельная заготовка а) до и б) после (продольное сечение) прокатки.

Для оценки точности изготовления слоев были проведены замеры охлажденных пластилиновых карточек в 5 точках с использованием микрометра. Результаты измерений показали, что отклонение по толщине слоев составило +0,1 мм. По данным ГОСТ 19903-74 для горячего проката толщиной 2 мм допустимым отклонением является $\pm 0,15$ мм, а для толщины 1мм - $\pm 0,09$ мм. По данным ГОСТ 19904-90 для листового холоднокатаного проката толщиной 1,5÷2,0мм отклонение составляет $\pm 0,13$ мм. Таким образом, достигнутая точность изготовления сочтена достаточной и толщина слоев не превышала 2,1 мм.

Были изготовлены 7-ми, 9-ти и 11-тислойные образцы шириной $b_1 = 50$ мм и длиной $l_1 = 150$ мм (см. рис.5). Перед прокаткой образцы были предварительно осажены для надежного сцепления слоев и получения монолитной заготовки, а также охлаждены во избежание налипания на валки. Прокатка проводилась с одинаковым для всех образцов обжатием 20% в первом проходе, обжатием 25% во втором проходе, т.е. суммарным обжатием 40%. Этим обжатиям соответствуют следующие значения l/h_{cp} (см. таблицу 1), которые были рассчитаны по формуле:

$$\frac{l}{h_{cp}} = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot R}{h_1}} \cdot \frac{2}{2 - \varepsilon} = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot R}{n \cdot h}} \cdot \frac{2}{2 - \varepsilon} \quad (1)$$

где ε – относительное обжатие,

h_1 – исходная высота заготовки,

R – радиус валков,

n – число слоев,

l – длина очага деформации,

h – толщина слоя.

Таблица 1. Размеробразцов.

n	$\varepsilon = 20\%$			$\varepsilon = 40\%$	
	h_1	b_1/h_1	l/h_{cp}	b_2/h_2	l/h_{cp}
7	14,7	3,4	1,16	4,4	1,84
9	18,6	2,7	1,03	3,5	1,64
11	22,5	2,2	0,94	2,9	1,49

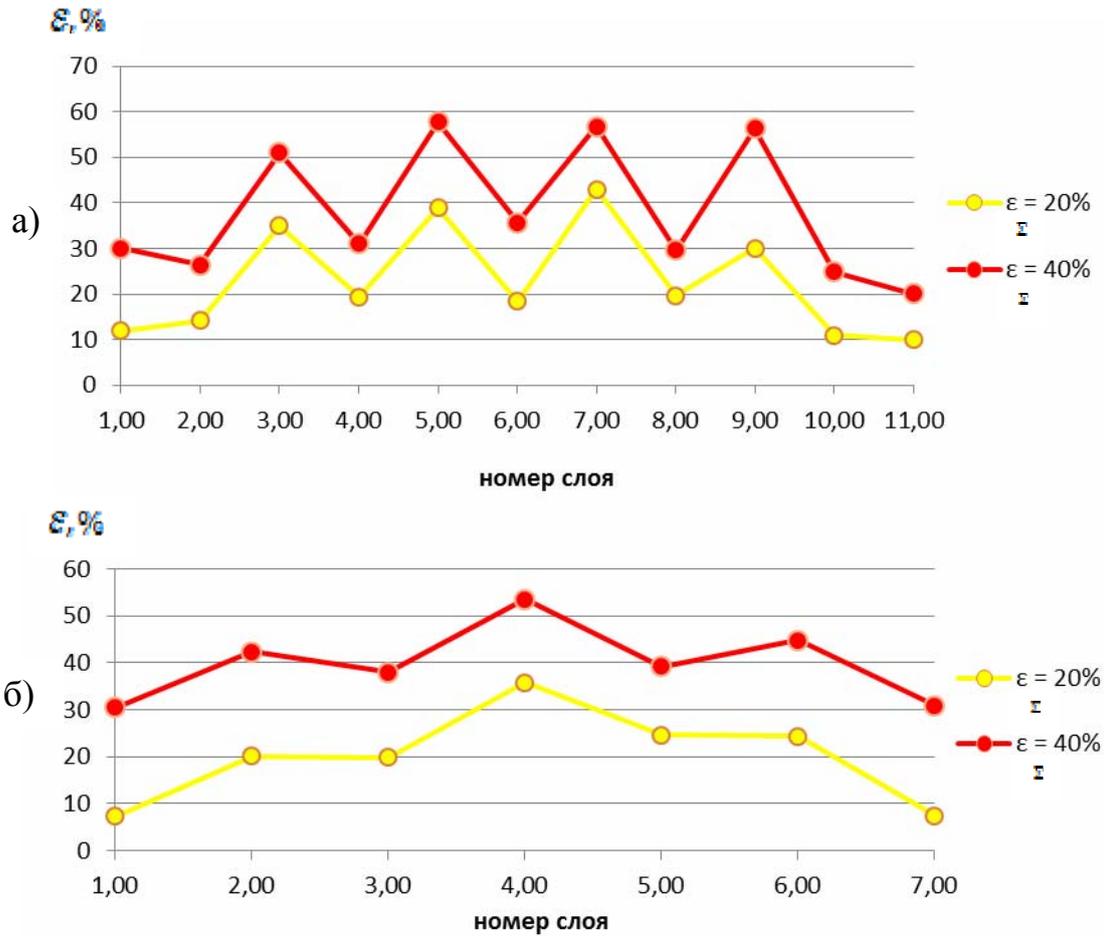


Рис.6. Графики послойного распределения обжатий
а) в 11-слойных образцах, б) в 7-слойных.

Как видно из графиков, при распределении деформации имеет место постоянное различие в обжатие твердых и мягких слоев, которое наиболее четко прослеживается в 11-слойных образцах.

При подготовке прокатки для последующих переделов возникает проблема наложения верхних слоев при сборке новых пакетов для чего особенно важно знать послойное распределение деформации в заготовках, что также дает возможность варьировать толщину исходных слоев.

Для оценки неравномерности можно использовать параметр

$$H_{\Delta}^{\Sigma} = \frac{\varepsilon_{\text{сл,max}} - \varepsilon_{\text{сл,min}}}{\varepsilon_{\Sigma}}, \quad (2)$$

где ε_{Σ} – суммарное относительное обжатие всего образца;

$\varepsilon_{\text{сл,max}}$ и $\varepsilon_{\text{сл,min}}$ – соответственно максимальное и минимальное относительное обжатие слоев.

Таблица 2. Неравномерность деформации.

№	n	$\frac{H_2^Y}{H_1^Y}$	
		$\varepsilon = 20\%$	$\varepsilon = 40\%$
1	7	1,3	0,64
2	9	1,86	0,7
3	11	1,74	0,98

При повышении степени деформации равномерность проработки слоев увеличивается. В результате измерений было установлено, что во всех образцах имеет место большая деформация средних слоев, что подтверждает закономерности, описанные в теории прокатки: при прокатке полос средней толщины – $3 \div 4 > l/h_{cp} > 0,6 \div 0,8$ в связи с относительным увеличением размера h_{cp} действие сил трения на средние (по высоте) слои металла ослабевает; эти слои деформируются наиболее интенсивно. В то же время в приконтактных слоях образуются зоны затрудненной деформации. Боковые кромки полосы приобретают явно выпуклую форму, [3,4].

При дальнейшей работе в ходе проведения экспериментов следует провести факторный анализ формулы (1), что даст возможность оценить влияние каждого параметра (n , ε , R) в отдельности. Необходимо проверить проработку сечения при различном числе слоев и провести прокатку с большей дробностью деформации для оценки влияния степени обжатия на структуру многослойных материалов, также необходимо оценить влияние геометрических параметров деформации, варьируя радиус валков (прокатка на различных станах) и анализируя результаты в зависимости от полученного соотношения l/h_{cp} . Таким образом, требуется провести анализ распределения обжатий по сечению заготовки при $l/h_{cp} < 3$, а также $l/h_{cp} > 0,8$ и уточнить значения параметров, обеспечивающие полную проработку сечения при наименьшей неравномерности в деформации слоев.

Литература

1. Колесников А. Г., Мечиев Ш. Т., Панова И. Ю. Состояние и перспективы применения многослойных металлических заготовок // Заготовительные производства в машиностроении. – 2008. – №1. С. 42-43
2. Колесников А.Г., Плохих А.И., Комиссарчук Ю.С., Михальцевич И.Ю. Исследование особенностей формирования субмикро- и наноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки // МиТОМ.–2010.– № 6. С. 44-49
3. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. – М.: Металлургия, 1980. – 320с.
4. Грудев А.П. Теория прокатки. – М.: Металлургия, 1988. – 240 с.
5. Кобелев А.Г., Лысак В.И., Чернышов В.Н. и др. Производство слоистых композиционных материалов. – М.: Интермет-Инжиниринг, 2002. – 496 с.
6. Бурмистров В.И. Технология производства многослойных листов методом ГИП и прокатки. // Технология металлов. – 2005. – №5. С.6– 11.
7. Карпов М. И., Внуков В. И., Волков К. Г., и др. Возможности метода вакуумной прокатки как способа получения многослойных композитов с нанометрическими толщинами слоев // Материаловедение. – 2004. – № 1. С. 48-53.
8. Голованенко С. А., Меандров Л. В. Производство биметаллов. – М.: Металлургия, 1966. – 304 с.
9. Король В. К., Гильденгорн М. С. Основы технологии производства многослойных металлов. – М.: Металлургия, 1970. – 237 с.